

УДК 621.384

РАЗРАБОТКА ТВЕРДОФАЗНОГО МАСС-СПЕКТРОМЕТРА МТИ-350Т

А.В.Сапрыгин, В.А. Калашников, Ю.Н. Залесов, Д.В. Новиков, А.Б.Малеев
Уральский элетрохимический комбинат
624130, Новоуральск Свердловской обл., Дзержинского, 2
vak@ueir.ru

Приведены основные требования к масс-спектрометру, предназначенному для анализа изотопного состава урана и плутония в твердой фазе. В настоящее время ведется разработка этого прибора на базе газового масс-спектрометра МТИ-350Г.

В отраслевой целевой программе "Разработка специализированного масс-спектрометрического оборудования, организация его выпуска для оснащения предприятий отрасли приборами нового поколения и создание импортозамещающего производства масс-спектрометров в Российской Федерации" одной из первоочередных задач, поставленной перед разработчиками, является создание масс-спектрометра для анализа изотопного состава урана и плутония в твердой фазе. Необходимость разработки такого масс-спектрометра для изотопного анализа соединений урана и плутония обусловлена следующими причинами:

- в производстве ТВЭЛов необходима систематическая и эпизодическая проверка изотопного состава материала и готовой продукции в процессе их изготовления;
- существует необходимость проводить масс-спектрометрический контроль примесей и микропримесей в твердофазном уране и плутонии на уровне ~ 1 ppb и разрешении не менее 1000;
- на многих предприятиях Минатома требуется определять изотопный состав твердых соединений урана в различных технологических процессах, в тех случаях, когда газовый анализ применить сложно или невозможно;
- при анализе качества обогащенного гексафторида урана на соответствие требований спецификаций и ТУ часто предпочтительнее исполь-

зовать твердофазный анализ вследствие его более высокой точности, в сравнении с газовым анализом, при определении содержания минорных изотопов: урана-234, урана-236;

- существует необходимость предусмотреть возможность работы с пробами плутония в трехзонной планировке.

Исходя из принятой концепции построения серии статических магнитных масс-спектрометров на единой базовой основе и на модульной конструкции, неременным требованием к разрабатываемому твердофазному масс-спектрометру является требование совместимости его аналитической части с аналитической частью газового масс-спектрометра МТИ-350Г. По возможности вакуумные системы должны быть унифицированы.

Существенные отличия от газового прибора имеют следующие узлы твердофазного масс-спектрометра:

- система подготовки и ввода пробы;
- источник ионов с системой его электропитания и настройки;
- система регистрации (приемник ионов).

В остальных системах также возможны небольшие изменения, но они не столь принципиальные. Например, для увеличения производительности при откачке камеры источника ионов в твердофазном масс-спектрометре целесообраз-

но использовать турбомолекулярный насос вместо магниторазрядного как в МТИ-350Г. Некоторые изменения должно претерпеть и программное обеспечение. Все эти конструктивные особенности были отражены в утвержденном Техническом Задании на "Разработку масс-спектрометра для изотопного анализа урана, плутония и смешанного топлива в твердой фазе". Рассмотрим кратко основные параметры, которым должен соответствовать разрабатываемый масс-спектрометр для удовлетворения всех нужд предприятий атомной промышленности.

Прибор должен быть разработан в двух модификациях: масс-спектрометр предназначенный для проведения изотопного анализа урана или плутония в твердой фазе в обычных лабораторных условиях и масс-спектрометр, предназначенный для изотопного анализа урана, плутония и смешанного топлива в твердой фазе в помещениях с зональной планировкой.

Масс-спектрометр по показателям назначения, степени автоматизации и энергопотреблению должен не уступать прототипам: Сектор 54 фирмы "Микромасс" (Великобритания), Тритон и МАТ-262 фирмы "Финниган-МАТ" (Германия), МИ1201-АТ фирмы АО "Сэлми" (Украина).

Разработка твердофазного масс-спектрометра выполняется на основе:

- опыта УЭЖК, ВНИИТФА, СКБ ЭЗНП и ИАП РАН, полученного при создании масс-спектрометров изотопного анализа урана в газовой фазе для Минатома России;
- результатов научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, полученных во ВНИИТФА и АО "Сэлми" при создании масс-спектрометра МИ1201-АТ, положительного опыта эксплуатации масс-спектрометров в организациях Минатома России.

В состав масс-спектрометра должны входить:

- система вакуумно-аналитическая (масс-анализатор с источником и приемником ионов, а также системой откачки);
- "магазин" револьверного типа для ввода проб;
- система питания источника ионов и масс-анализатора;
- система измерения и регистрации ионных токов с устройством для автоматической подстройки приемника ионов при перестройке масс-спектрометра на изотопный анализ урана, плутония или других трансурановых элементов;
- система управления и обработки информации на основе промышленного компьютера;
- система силового питания и защиты;
- запасное имущество.

По требованию потребителя масс-спектрометр должен комплектоваться следующим оборудованием:

- дополнительный "магазин" для ввода проб;
- приспособление для установки и снятия "магазина";
- устройство для нанесения проб с отделением плутония от урана и америция;
- стенд для тренировки лент ионизатора и испарителя;
- устройства для резки и приварки лент;
- устройство контроля правильной установки лент;
- дополнительная высоковакуумная ловушка для камеры источника ионов;
- пирометр.

Проведение анализа (управление блоками масс-спектрометра, необходимые калибровки, подача пробы смена проб в источнике ионов, измерение ионных токов, расчеты, перемещение коллекторов приемника ионов для контроля изотопного состава урана, плутония или других трансурановых элементов и т.п.) на масс-спектрометре должны осуществляться с помощью промышленного компьютера в автоматическом режиме. При пуско-наладочных и профилактических работах должна быть обеспечена возможность перехода на ручное управление.

Система управления и обработки информации должна включать:

- промышленный компьютер (ПК);
- интерфейсные устройства для связи ПК с измерительными и управляющими устройствами;
- математическое обеспечение;
- программное и аппаратное обеспечение для включения масс-спектрометра в АСУТС;
- устройства бесперебойного питания и защиты от колебаний питающей сети, рассчитанные на 4 часа автономной работы.

Основные показатели назначения должны быть следующими:

- разрешающая способность масс-спектрометра, измеренная на уровне 10 % интенсивности пиков масс-спектра урана с вычетом ширины плоской части вершины пиков, должна быть не менее 750;
- верхнее значение диапазона массовых чисел при ускоряющем напряжении 8 кВ должно быть не менее 300 а.е.м.;
- Изотопический порог чувствительности, определяемый по масс спектру урана - при смещении на 1 а.е.м. от пика урана-238 (237 и 239 а.е.м.) в рутинном режиме работы должен быть не более $2 \cdot 10^{-6}$ отн. ед. (2 ppm);

- коэффициент использования проб урана и плутония должен быть не менее 0,2%.

Предел допускаемого значения систематической составляющей относительной погрешности масс-спектрометра не должен превышать:

- $\pm 0,001$ % при измерении изотопных отношений стронция-87 к стронцию-86 с использованием стандартных образцов изотопного состава стронция;

- $\pm 0,1$ % при измерении изотопных отношений урана с использованием стандартных образцов изотопного состава урана ГСО7541-99 с 50 % содержанием урана-235;

- $\pm 0,1$ % при измерении изотопных отношений плутония. Для измерений использовать стандартные образцы изотопного состава плутония, для чего необходимо разработать соответствующие ОСО.

В 2002 г. началась разработка данного масс-спектрометра, в которой принимают участие организации, разрабатывавшие МТИ-350Г, а именно: ВНИИТФА (г.Москва), ЭЗНП (г.Черноголовка), ИАП и СКБ "Спектрон-аналит" (г.С-Петербург), УЭХК (г.Новоуральск). В этой работе также принимают участие ВНИИНМ им. А.А.Бочвара и ПО "Маяк" (г. Озерск), которые имеют большой опыт как в эксплуатации различных масс-спектрометров для твердофазного анализа соединений урана и плутония, так и в разработке методик твердофазного анализа. К настоящему моменту изготовлена базовая часть масс-спектрометра с внесением необходимой коррекции для этой модификации, разработаны и изготовлены новые узлы источника и приемника ионов, ведется сборка и наладка экспериментального образца, на котором будут проведены испытания всех новых устройств и схем.

* * * * *

DEVELOPMENT OF SOLID-PHASE MTI-350T MASS-SPECTROMETER

A.V.Saprygin, V.A.Kalashnikov, Yu.N.Zalesov, D.V.Novikov, A.B.Maleyev

The article contains basic requirements for mass-spectrometer designed to analyse uranium and plutonium isotope content in the solid phase. Nowadays development of such device on the base of MTI-350G Mass-Spectrometer is under way.
